

Búsqueda de trayectos cognitivos en temas de física actual: estudio en dos niveles educativos

Search of cognitive trajectories in current Physics topics: Study in two educational levels

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Consuelo Escudero^{1,2}, Sonia Beatriz González³

¹Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan. Avda. Libertador 1290 (O). Capital. CP 5400 San Juan. Argentina.

²Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Avda. Ignacio de la Roza y Meglioli. Rivadavia. CP 5423 San Juan. Argentina.

³Facultad de Filosofía Humanidades y Artes. Avda. Ignacio de la Roza 230 Oeste. Capital. CP 5400 San Juan. Argentina.

E-mail: cescudero@unsj-cuim.edu.ar

Resumen

En este trabajo se presenta un avance de resultados de una investigación más amplia, en una de cuyas etapas se enfoca el interés en investigar las acciones que realizan los estudiantes frente a situaciones relacionadas con el estudio de los modelos de radiación-materia, de átomo y/o de radiación actuales. Se analiza la conceptualización introductoria que realizan los estudiantes principalmente acerca del concepto de fotón. Este proceso no se desarrolla en forma aislada, sino que convoca conocimientos previos como los de energía, interacción, radiación, cantidad de movimiento, dispersión y capta otros que comienzan a revelarse, como el de *cuantización*, estados discretos, electrón libre, aniquilación, re-irradiación, entre otros. Se trabajó en aulas de cuarto año de escuela secundaria y de segundo año de ingeniería. En la búsqueda se procura investigar de qué manera asimilan nuevos conceptos, redefinen otros y reestructuran esquemas de conocimiento; además de las dificultades que tienen los estudiantes para aproximarse a un aprendizaje significativo y contextualizado.

Palabras clave: Conceptualización; Modelado; Interacción de la radiación; Energía; Fotón.

Abstract

This paper presents an advance of the results of a broader research, in one of whose stages the interest in investigating the actions carried out by students in situations related to the study of radiation-matter, atom and/or current radiation. The introductory conceptualization carried out by students mainly about the concept of photon is analyzed. This process does not take place in an isolated way but rather convenes previous knowledge such as energy, interaction, radiation, momentum, dispersion and captures others that begin to reveal themselves, such as quantization, discrete states, free electron, annihilation, irradiation, among others. We worked in 4th classrooms. Year of secondary school and 2nd year of engineering. The answers to the situations raised are used to investigate how they assimilate new concepts, redefine others and re-structure knowledge schemes. Some of the difficulties students have to reach high levels of meaningful learning and comprehension in context are analyzed.

Keywords: Conceptualization; Modeling; Radiation interaction; Energy; Photon.

I. INTRODUCCIÓN

El desafío de enseñar algunos conceptos básicos de física cuántica en la escuela secundaria y en universitario básico ha provocado el interés de diversos grupos vinculados con la educación en física: profesores, docentes investigadores y físicos, preocupados por generar condiciones que promuevan un mayor acercamiento a las ciencias.

Esta situación en la que ya se ha consolidado la necesidad de incorporar contenidos de ciencia contemporánea, nos permite dirigir la mirada desde otro lugar, con una visión que no solo registre el libretto conceptual que se desarrolla en el aula, sino que sea capaz de reconocer la complejidad del aprendizaje de cierto tipo de conceptos cuyos atributos se encuentran alejados de la percepción sensorial.

La pregunta de fondo como docentes-investigadores, más allá del enfoque se parece a la siguiente: ¿De qué manera enseñar (y aprender) tópicos de actualidad que hunden sus raíces en la física cuántica aplicada –por ejemplo, su aporte a las tecnologías médicas– que no tienen un objeto similar, tangible, con el cual se pueda establecer una analogía?

Una alternativa podría ser a partir de la descripción de un contexto en el sentido que se propone en la teoría de los campos conceptuales, donde cada concepto ocupa un lugar de acuerdo al sentido que se construye entre la persona y los objetos en situación: “*Un campo conceptual es el resultado de la elaboración pragmática de un conjunto de situaciones*” (Vergnaud, 1993).

Dentro de un campo conceptual no todos los conceptos tienen el mismo nivel de importancia. Algunos de ellos son estructurantes, los llamamos conceptos marcadores (González, 2015). Y esto se debe al tipo de función que cumplen dentro del campo: otorgan elementos para conformar un perfil diferente en el nuevo espacio y a menudo funcionan como vectores de significado entre un campo y otro. Particularmente, para la enseñanza introductoria de física cuántica, por ejemplo, el concepto de fotón es uno de ellos, con propiedades que hacen factible la posibilidad de iniciar su construcción conceptual desde el nivel secundario, siendo ineludible para una alfabetización científica con vínculos más comprometidos dentro del contexto social del siglo XXI.

II. MARCO TEÓRICO

La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud es una teoría psicológica de los conceptos (Vergnaud, 1990) una teoría cognitivista del proceso de conceptualización de lo real. Se trata de una teoría pragmática en el sentido que presupone que la adquisición de conocimientos es moldeada por situaciones, problemas y acciones del sujeto en esas circunstancias (Vergnaud, 1994). Es decir, que por medio de su resolución es que un concepto adquiere sentido para el alumno. Gérard Vergnaud, extiende en su teoría las preocupaciones iniciales de Piaget hacia el estudio del funcionamiento cognitivo del “sujeto-en-situación”. Además, toma como referencia el propio contenido del conocimiento y el análisis conceptual de dominio de ese conocimiento (Vergnaud, 1994, Franchi, 1999). Es decir, instaló en una zona de visibilidad el hecho relevante de cuánto depende el desarrollo cognitivo de situaciones y de conceptualizaciones específicas necesarias para lograr, aunque sea un pequeño avance. Según Vergnaud, es infructuoso intentar reducir la complejidad conceptual, progresivamente dominada por niños y jóvenes a algún tipo de complejidad lógica general y en cambio es muy eficiente integrar los contenidos (Vergnaud, 1994).

Bajo este referencial un concepto no puede reducirse a su definición, principalmente si nos interesamos por su aprendizaje y su enseñanza. Es a través de las situaciones y de los problemas a resolver que adquiere sentido para un estudiante. La idea es que los conceptos adquieren sentido por y para las situaciones y, por tanto, se desarrollan a través de la resolución de problemas, deja claro el papel de la resolución de problemas en el ámbito del proceso de conceptualización (Moreira, 2004) y el papel del profesor y del lenguaje. “*Los conceptos adquieren sentido por y para las situaciones problemáticas, es la capacidad de operatividad que generan*” (Escudero y Jaime 2013).

Entre los individuos lo que se desarrolla son formas de organización de la actividad. El problema de la enseñanza suele ser en gran parte el de llevar al aprendiz a desarrollar sus competencias. Por tanto, para desarrollar dicha noción Vergnaud ha utilizado el concepto de esquema: “*Llamamos esquema a la organización invariante de actuación para una clase de situación dada. Es en los esquemas que se deben investigar los conocimientos-en-acción del sujeto, es decir, los elementos cognitivos que hacen que la acción sea operatoria*” (Vergnaud, 1993).

Hay situaciones en las que se pone en funcionamiento un solo esquema. En otras se produce una puesta en juego de varios esquemas, con los que se ensayan diversas alternativas: uniones, intersecciones, combinaciones, etc. De donde resulta una verdadera instancia de aprendizaje.

Cuando un estudiante entiende que un esquema no le está resultando eficiente para resolver ciertas clases de situaciones, es muy posible que procure modificarlo o cambiarlo, con lo que se demuestra el lugar central de los procesos de asimilación y acomodación en la adaptación de las estructuras cognitivas (Piaget, 1987, Piaget y García, 1996). “*Un esquema se apoya siempre en una conceptualización implícita*” (Vergnaud, 1993).

Los conocimientos que contienen los esquemas, en general denominados invariantes operatorios, son designados en esta teoría como “conceptos-en-acción” y “teoremas-en-acción”, constituyendo las perlas de la cognición. Teniendo presente que no se trata de conceptos ni de teoremas en el sentido canónico que se los conoce desde el lenguaje y desde la matemática.

Toda vez que a un estudiante se le plantea un desafío para el que en realidad no se encuentra preparado (los esquemas adecuados no se encuentran disponibles), acudirá a aquellos que estima que tienen algún vínculo, tratando de combinarlos o de recortar aquello que considera más útil, y por cierto en la

medida que posea un buen repertorio de esquemas tendrá mayores chances de aproximarse a una respuesta plausible. Lo interesante de estas operaciones es rescatar todas aquellas semejanzas y diferencias que adquieren o modifican significados y se transforman en insumos para nuevos retos. Parafraseando a Vergnaud, decimos que la clave de la generalización de un esquema se encuentra en el reconocimiento de invariantes. En el caso de los estudiantes, ocultos bajo un lenguaje opaco que emplean en el cotidiano, y que transporta los significados que ellos atribuyen al contenido.

Un esquema está formado por:

1. Metas y anticipaciones;
2. Reglas de acción del tipo “si... entonces...”;
3. Invariantes operatorios, que pueden ser de tres tipos lógicos: proposición, función proposicional y argumento. En esta teoría al concepto se lo considera un triplete de tres conjuntos: $C = (S, I, L)$. Donde, S: Referencia: conjunto de situaciones que dan sentido al concepto; I: Significado: conjunto de invariantes en que se basa la *operacionalidad* de los esquemas; y L: Significante: conjunto de formas del lenguaje, y otros signos, que permiten representar simbólicamente el concepto, sus propiedades, las situaciones y los procedimientos de tratamiento. Son tres planos diferentes que se refieren a la misma entidad y que hay que considerar en forma simultánea si lo que se pretende es realizar un buen análisis.
4. Posibilidades de inferencia o razonamientos.

Los esquemas se construyen en forma muy concreta y definida, para una determinada clase de situación. Es por eso que tienen un dominio de validez limitado. Pero, a la vez existe la posibilidad de ampliarlos y generalizarlos.

III. METODOLOGÍA

Durante el proceso de investigación hemos procurado no alejarnos del paradigma interpretativo en el sentido de resaltar el significado de la palabra, de la acción y sobre todo de las relaciones que se proponen por parte de los alumnos, porque en ellas es donde generalmente quedan grabadas las huellas de los procesos cognitivos que se activan frente a las situaciones problemáticas.

Afirmarse en una postura cualitativa significa, además de posicionarse en una actitud interpretativa, basarse en datos contextualizados, sensibles al ámbito en que se producen y también comprometerse con una mirada que advierta los detalles. Acordamos con la importancia que se le otorga al significado y a la interpretación, al contexto, al comportamiento humano en toda su complejidad y al alcance asignado al estudio del lenguaje de los actores, a sus prácticas, a sus diferentes conocimientos, a sus distintos puntos de vista.

En el nivel secundario el trabajo se realizó a partir de las respuestas en trabajos prácticos a 38 estudiantes de 4to año con orientación en Humanidades y Ciencias Sociales, después de haberse desarrollado el estudio del modelo atómico contemporáneo; en tanto que en el nivel universitario fueron 33 estudiantes de 2do año de Bioingeniería en su tercer curso de Física General.

En el proceso educativo para ambos cursos, se intercalaron prácticos de los que se seleccionaron dos tareas para este estudio –una en cada nivel educativo –, teniendo en cuenta que era una oportunidad para que expresen las nociones que iban construyendo acerca del concepto de fotón y con otros conceptos asociados como puede ser el de electrón.

La “situación 1” que dio origen a las respuestas que examinamos se propuso en una de las clases finales en secundario y fue:

1.– Cuando los átomos de una sustancia se encuentran en su estado de mínima energía, la estructura de cada uno de ellos puede representarse como se indica en A. Al cabo de algunos segundos, la estructura de la mayoría de ellos se modificó, presentándose como en la B: Se solicita que:

- (a) *Complete la representación de ambas estructuras consignando los números que correspondan al nivel y las letras que correspondan a subniveles y orbitales.*
- (b) *Trate de explicar qué puede haber sucedido para que la estructura A aparezca luego como la estructura B.*

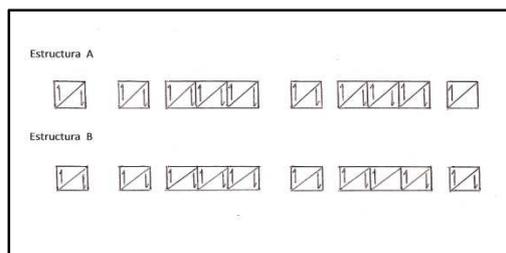


FIGURA 1. Representación de diferentes estados de un átomo.

Mientras, la “situación 2” acerca de la dispersión de la radiación con electrones libres se propuso en universitario básico y fue.

- 2.- En un experimento sobre efecto Compton, los fotones incidentes de rayos X tienen una energía de $10^5 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ J}$.
- (a) ¿Cuál es la frecuencia de los fotones incidentes?
 - (b) Si un electrón gana 4000 eV de energía cinética cuando un fotón se difunde (o dispersa) un cierto ángulo, ¿qué valor tiene ese ángulo?
 - (c) En el efecto fotoeléctrico y en el efecto Compton participan un fotón incidente y un electrón expulsado. ¿En qué se distinguen ambos efectos?

Esta segunda situación problemática busca integrar inicialmente la energía y el ímpetu lineal, así como su conservación a través del efecto Compton, además de su contrastación con el efecto fotoeléctrico. En la primera situación (nivel secundario) solo se trabajó con el ítem “b” para la presente pesquisa, mientras para la segunda (nivel universitario) sólo con el ítem “c”, ya que el “a” ni el “b” presentaron dificultades ni respuestas llamativas. Reparar que estos ítems también se adoptaron como herramienta de control.

IV. ANÁLISIS

A fin de organizar el estudio en etapas, en primer lugar se realizó una clasificación muy básica de respuestas a la primera situación, para definir el corpus de la investigación. Así, se diferenciaron los grupos de la siguiente manera:

Tabla I. Agrupamientos de respuestas “b” de la situación 1.

Grupo	Característica	Cantidad de respuestas
1	Respuestas similares a las esperadas	14
2	Respuestas confusas	18
3	No responden	6

Grupo 1: Las respuestas esperadas pueden ser total o parcialmente correctas. En una primera etapa lo que se busca es que el estudiante comience a elaborar pequeñas unidades de contenido en las que ya haya podido intervenir para construir significado.

Ejemplos de respuestas similares a las esperadas:

- R₁-Un fotón es lo mismo que cuanto, se refiere a “paquetitos de energía”. La teoría cuántica dice que la transmisión de la energía se realiza de manera discontinua.
- R₂-Fotón: son paquetes de energía, al igual que los cuantos. La teoría cuántica es la transferencia de energía en paquetes llamados cuantos, esto no se produce en forma continua sino discontinua.

En el grupo 2 se encuentran las respuestas que muestran cierta incoherencia al establecer vínculos con otros conceptos, o confunden fotón con electrón (también con protón o neutrón), o expresan marcadas concepciones erróneas acerca de la energía. Por ejemplo:

- R₃- Lo que ha sucedido es que el átomo de estar estable, uno de sus electrones ha pasado de un nivel inferior a un nivel superior y no se encuentra en equilibrio hasta que se libere un fotón en forma de calor.
- R₄...posteriormente puede haberse liberado dicha energía en forma de fotón, quiere decir que el átomo libera la energía que absorbió previamente en forma de calor.

- R₅- El fotón es un paquetito de energía el cual se transmite de manera discontinua, formando un espectro de líneas.
- R₆- El fotón libera energía de manera discontinua y genera un espectro de líneas...
- R₇- Un fotón es la liberación de energía en "cajitas" que es lo mismo que cuantos...
- R₈...energía que se traslada por medio de "cajitas" también llamadas cuantos, es decir que no hay una continuidad.
- R₉- En la teoría cuántica representa que es un caso discontinuo, es el momento en el cual un fotón que es una cajita de energía también llamada cuanto pasa a otro nivel y el estado comienza a ser inestable.
- R₁₀- Los cuantos son paquetitos de energía que se distribuyen por el átomo.
- R₁₁- La energía puede ser positiva o negativa.

Las respuestas consignadas anteriormente constituyen ejemplos del grupo 2, que es el de interés para este estudio, conformado por 18 alumnos y alumnas.

Mientras la clasificación de respuestas parciales construidas por los estudiantes universitarios permitió construir la siguiente tabla:

Tabla II. Agrupamientos de respuestas "c" de la situación 2.

Grupo	Característica	Cantidad de respuestas
1	Respuestas similares a las esperadas	10
2	Respuestas confusas	20
3	No responden	3

Grupo 1: Las respuestas esperadas pueden ser total o parcialmente correctas. Un ejemplo de respuesta similar a la esperada:

R₁- (c) El efecto fotoeléctrico analiza los cambios de energía que se producen tras la colisión. Hace referencia a la energía que absorbe el electrón para escapar y a la energía cinética remanente que queda en él. En cambio, en el efecto Compton se analiza la conservación de la energía y la conservación de la cantidad de movimiento: $hf + mc^2 = hf' + mc^2 + K$
 Este fenómeno logra abordar de una mejor manera la relación de fotón como un corpúsculo de luz ya que asocia otra magnitud relacionada con la materia como es la cantidad de movimiento con una propiedad de las ondas como es la longitud de onda: $h/\lambda=p$.
 En este fenómeno logra observarse la interacción que tiene el fotón con el electrón y por otra parte es emitida en otro fotón con una longitud de onda mayor. Esto significa que el fotón incidente perdió energía que fue transferida al electrón.
 Este proceso depende del ángulo de dispersión que se toma para hacer el análisis.
 En cambio, en el efecto fotoeléctrico lo importante para lograr que se produzca es que la frecuencia utilizada sea mayor al umbral, sin importar la intensidad. Ambos efectos logran explicar que la interacción fotón-electrón es 1:1. Un "cuanto de energía" para cada electrón.

En el grupo 2 se encuentran las respuestas que muestran inconsistencias al establecer vínculos con otros conceptos; o amalgaman clásicamente onda y materia, o no diferencian los dos fotones en juego ni electrón libre de electrón ligado, o expresan marcadas concepciones alternativas sobre procesos como reflexión, emisión, colisión, sobre energía e ímpetu lineal. Por ejemplo:

R₂₁- (c) En el efecto fotoeléctrico el fotón le entrega toda su energía al electrón y el estudio se concentra en la corriente liberada o no por el desprendimiento o no del electrón a causa de la energía absorbida. Mientras que en el efecto Compton se estudia como un fotón que entrega parte de su energía y se dispersa con menos energía, menos frecuencia y mayor longitud de onda sin focalizarse en el desprendimiento de electrones, sino llevando el foco a los fotones.

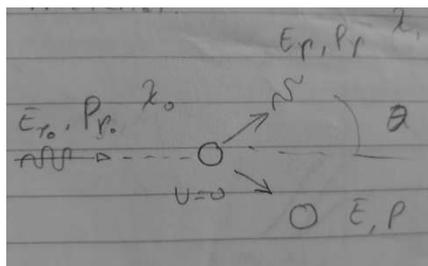


FIGURA 2. Representación correspondiente a R₂₁.

R₃₋ (c) En efecto Compton hay un fotón reflejado que posee una λ mayor y una energía diferente de la incidente. Nos interesa el ángulo, la energía y la longitud de onda de salida.
 En efecto fotoeléctrico nos interesa conocer una frecuencia asociada al material para poder depender de éste, a frecuencias mayores, electrones. Nos interesa f_u y electrones.
 R₂₅₋ (c) En el efecto fotoeléctrico el fotón transfiere toda su energía al electrón y en el efecto Compton transfiere sólo una parte, la restante rebota en forma de onda electromagnética de λ mayor a la incidente.
 R₁₄₋ (c) La $\Delta\lambda$ entre rayo incidente y reflejado (...) La dispersión del haz de luz en el efecto Compton se produce por el choque entre el rayo y el electrón.
 R₉₋ (c) La energía que pierde el fotón (.. J) es la energía que se transfiere al electrón durante la interacción.
 R₂₇₋ (c) Dependiendo de la angulación con la que llega la luz de la onda incidente choca contra el electrón, va a ser la variación que va a sufrir la longitud de onda reflejada.

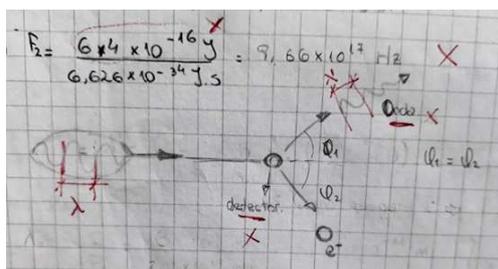


FIGURA 3. Representación correspondiente a R27.

R₁₉₋ (c) Si bien en ambos efectos interactúan fotones y electrones, existen algunas diferencias notables. En el efecto fotoeléctrico, el electrón absorbe por completo la energía del fotón y toda esa energía se traduce en energía cinética del electrón, es decir es uno a uno. Además, tenemos consideraciones especiales, como la función trabajo, que es la energía necesaria para desprender al electrón del átomo, de ahí se obtiene la ecuación principal de dicho efecto

$$eV = hf - \phi \quad \text{donde}$$

$$eV = K_{\text{máx}} \quad \text{y} \quad \phi = f_u h$$

Como podemos observar no figura la cantidad de movimiento lineal (explícitamente) ni mucho menos se habla de un corrimiento en la longitud de onda (ya que no se dispersa ningún sobrante de energía).

En contraposición en el efecto Compton se analiza la cantidad de movimiento, y principalmente se observa que el electrón absorbe al fotón y casi en simultáneo vuelve a emitir energía en forma de un nuevo fotón.

Si analizamos la ecuación de Compton: $\lambda_1 - \lambda_0 = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta)$ (...)

Entonces podemos observar que para los 90° de dispersión, se produce efecto Compton propiamente dicho, pero cuando $\theta = 0^\circ$, no existe dicho efecto, por lo que puede considerarse como la expresión en común con el efecto fotoeléctrico.

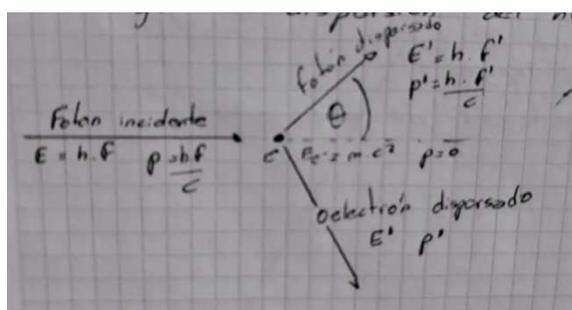


FIGURA 4. Representación correspondiente a R19.

Desde una primera indagación se puede advertir que:

1. Los estudiantes realizan un tratamiento macroscópico: principios de óptica geométrica o de ondulatoria clásica. Habría una referencia a la Condición de Bragg. No han incorporado a sus esquemas la teoría corpuscular de la radiación y tampoco la teoría del *quantum*. La reflexión no es un proceso de interacción de la radiación-materia (procesos microscópicos: atenuación y absorción: dispersión o esparcimiento). A consecuencia de este punto de vista piensan que el único fotón al interactuar con el electrón pierde energía y es este mismo fotón que sigue con menos energía; como si fuera un camión que choca y frena siguiendo su camino con menos energía.

2. Consideran el choque en un sentido clásico: el electrón del material como una “pared inerte”, lo cual muestra ausencia de un modelo microscópico elemental de materia.

3. Si bien se encuentra presente la conservación de la energía no es tan claro el papel de la conservación de la cantidad de movimiento. No necesariamente se visibiliza su transferencia en una interacción radiación-materia.

V. CONCLUSIONES

La lectura de estas respuestas nos da un indicio acerca de los diferentes caminos que busca el estudiante para otorgarle un lugar al concepto de fotón. A la vez, también ofrece pistas acerca de cómo piensa en la energía y en la cantidad de movimiento. Se supone que a esta altura del recorrido escolar ya ha construido una noción de energía y de *momentum*, aun considerando que no se encuentran totalmente consolidadas.

Cuando el estudiante dice que libera energía *como un fotón en forma de calor*, expresa claramente que su concepción de energía se encuentra aferrada a la de calor, por lo tanto seguramente los fotones serán “objetos calientes”. Expresión que nos lleva a pensar que hay un pensamiento muy ligado todavía a la percepción sensorial y que además no ha objetivado la noción de calor sino que conserva su idea intuitiva de frío-calor.

Los universitarios, en cambio, rondan alrededor de la noción de radiación que no terminan de construir y relacionar, buscando el significado de los conceptos, asumen distintos compromisos, como por ejemplo al fotón lo agrupan como electrón.

Tampoco se han consolidado los sistemas externos de representación durante el proceso de enseñanza. A través de la lectura frecuentemente se observan discrepancias entre los textos y las representaciones gráficas.

En apariencia se presenta un inicio de interpretación de lo que es un fotón, pero por otro lado hay huecos que señalan que le otorgan una entidad de tipo material o bien de onda electromagnética que se dispersa simétricamente ($\phi_1 = \phi_2$) respecto de la dirección del electrón (Figura 3).

A fin de interpretar con mayor precisión el pensamiento de los estudiantes merece comentarse que en 1922 Compton y Bohr consideraban conjeturas similares.

Para Compton y Bohr, en 1922, la radiación que incidía en la materia era de naturaleza ondulatoria, conforme lo describe la teoría clásica (...). Mientras para los procesos estrictamente atómicos sería necesario considerar que la radiación intercambiaba quantum de energía y de \vec{p} con la materia. (Silva y Freire, 2014)

A pesar de que la hipótesis del cuanto de radiación de Einstein fuera propuesta en 1905, la energía de la radiación concebida como “cuantos” indivisibles sufrió un fuerte rechazo, hasta que, en 1923, con la interpretación de Compton, el modelo cuántico de radiación acabó siendo aceptado.

El análisis en profundidad de las respuestas de los estudiantes, no solo ha propiciado la recolección de marcas en relación a los nuevos conceptos sino que ha resaltado las dificultades que tienen para pensar la transmisión de la energía a partir de las premisas de la teoría ondulatoria, como también de la cantidad de movimiento en mayor medida. También se ponen de manifiesto los hiatos, grietas que hay en los procesos de enseñanza y de aprendizaje, tal es el caso de una representación convincente, aunque a posteriori se vaya re-describiendo.

Es evidente que la figura del fotón les resulta más amigable –en principio– para atribuirle propiedades (es muy posible que construyan un análogo de una partícula), que la onda, donde es muy difícil imaginar una “distribución” de energía, de \vec{p} , una colisión, una aniquilación (E y \vec{p} absorbidos por el electrón libre de la onda electromagnética incidente) y una re-emisión de E' y \vec{p}' de la radiación dispersada o difundida.

Amplia literatura considera que se deben plantear situaciones nuevas que permitan la generalización de los conocimientos; la promoción y valoración de las ideas y expresiones personales de los estudiantes; a no tener miedo al trabajo con el error; a utilizar técnicas «indirectas» en la evaluación que hagan inútil la repetición literal y a aventurarse a utilizar sus propios conocimientos para resolver problemas y conflictos como así también aprender a dudar de sus propias ideas y de las ajenas.

AGRADECIMIENTOS

A CICITCA, UNSJ, por el financiamiento parcial.

REFERENCIAS

- Escudero, C. y Jaime., E. (2013) Los docentes frente al aprendizaje. El caso de la interacción de la luz con la materia. Presentado en: *1er. Workshop Enseñanza de la Física en Argentina (1 WEFA)*, 20-22 de mayo. Tandil. Bs. As.
- Franchi, A. (1999) Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. En: Alcântara Machado, S. D. et al. *Educação Matemática: uma introdução*. São Paulo: EDUC.
- González, S. (2015). La enseñanza de conceptos básicos de física cuántica para un aprendizaje significativo del modelo atómico actual. Tesis de Doctorado. Disponible en: www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/handle/123456789/772.
- Moreira, M.A. (Comp.) (2004). *La Teoría de los campos Conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área*. Brasil: Instituto de Física UFRGS.
- Piaget, J. (1987). *Introducción a la epistemología genética. 2. El pensamiento físico*. México: Paidós.
- Piaget, J. y García, R. (1996). *Psicogénesis e Historia de la ciencia*. 7^{ma} Ed. México: Siglo XXI.
- Silva, I. y Freire J O. (2014). A descoberta do efeito Compton: De uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(1), pp. 1-14.
- Vergnaud, G. (1993) Teoria dos campos conceituais. Presentado en: *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*, 14-16 de outubro, Rio de Janeiro (Brasil).
- Vergnaud. G. (1990) La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(23), 133-170.
- Vergnaud, G. (1994) Multiplicative conceptual field: what and why? En: Guerson, H. y Confrey, J. (Eds.) *The development of multiplicative reasoning in the learning of Mathematics*. Albany, N.Y.: State University of New York Press.